

Filmdosimetrie für die Bestrahlung des Ciliarkörpers mit schnellen Elektronen

von

Günter Kurt Schlechtweg

aus

Landau/Isar

Aus dem Institut für Physikalische und Medizinische Strahlenkunde
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Prof. Dr. med., Dr. phil. nat. H. Pauly

Filmdosimetrie für die Bestrahlung des Ciliarkörpers mit schnellen Elektronen

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt

von

Günter Kurt Schlechtweg

aus

Landau/Isar

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen
Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan: Prof. Dr. L. Demling
Referent: Prof. Dr. Dr. H. Pauly
Tag der mündlichen Prüfung: 2. August 1973

	Seite
1. Aufgabenstellung	1
2. Methodik	4
2.1. Grundlagen	4
2.1.1. Verhalten von Korpuskularstrahlen in Materie	4
2.1.2. Die Einwirkung von β -Strahlen auf den Film	6
2.1.2.1. Die Filmempfindlichkeit	6
2.1.2.2. Die Energieabgabe von β -Strahlen	7
2.1.2.3. Die Schwärzung	8
2.2. Versuchsanordnung	10
2.3. Standardisierung der Versuchsbedingungen	15
2.3.1. Filmmaterial und Filmverpackung	16
2.3.2. Definierte Bedingungen am Betatron	17
2.3.3. Filmverarbeitung	17
2.3.4. Auswertung am Densitometer	20
2.3.5. Mittelwertbildung und Fehler	20
3. Durchgeführte Messungen	21
3.1. Erstellen der Eichkurve	21
3.2. Unabhängigkeit der Schwärzung von der Elektronenenergie	24
3.3. Tiefendosismessung unter "Augentubus"-Bedingungen	28
4. Zusammenfassung	34



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548407_0072

Aufgabenstellung

Das Glaukom, eine Erkrankung des Auges, bei der es durch ein Mißverhältnis zwischen Kammerwasserproduktion und -resorption zu einer Druckerhöhung im Auge mit starken Schmerzen, und bei längerem Bestehen zur sekundären Druckschädigung des Nervus opticus und damit zur Erblindung kommt, wird in der Augenklinik vorwiegend operativ durch die Iridektomie bzw. verschiedene Fisteloperationen angegangen. Neuerdings versucht man bei therapieresistentem Glaukom die gestörten Augeninnendruckverhältnisse durch die Ciliarkörperbestrahlung mit ionisierenden Strahlen zu normalisieren (1). Man verwendet dabei ausschließlich aphake Augen um eine eventuelle Schädigung der Linse auszuschalten. Als geeignete Strahlenart bieten sich, wegen der guten Anpassung der Tiefendosis-kurve an die Lage des Herdes, die schnellen Elektronen an. Über ihr Verhalten beim Eindringen in Materie soll im nächsten Kapitel genauer berichtet werden. Vorläufig sei nur bemerkt, daß die Energie der Elektronen 4,5 MeV betragen muß, damit das Dosismaximum im Ciliarkörper liegt, der das Kammerwasser produziert. Ziel der Behandlung ist eine Funktionshemmung der Kammerwasserproduktion, um das Mißverhältnis zur Resorption auszugleichen. Damit folgt man dem Muster der Bestrahlung des Plexus chorioideus bei Hydrocephalus in der Neurochirurgie. Nach dem bis jetzt am meisten ver-

wendeten Dosierungsschema wird jeweils zwei gegenüberliegenden Quadranten wöchentlich zweimal eine Einzeldosis von ca. 200 R* verabreicht. Nach fünf Sitzungen, d.h. einer Gesamtdosis von je 1000 R folgen in gleicher Weise die beiden restlichen Quadranten. Man verwendet zur Bestrahlung das 17 MeV-Betatron von Siemens, auf dem ein Spezialtubus mit zwei halbmondförmig gestalteten Austrittsöffnungen angebracht ist, die als Bestrahlungsfeld die Hälfte des Ciliarkörpers erfassen.

Es ist nun die Aufgabe dieser Arbeit sowohl die relative Dosisverteilung (Tiefendosiskurve) im Auge, als auch die absolute Dosisleistung im Maximum** zu ermitteln. Da es sich um ein sehr kleines Feld handelt - der Durchmesser beträgt nur wenige Millimeter - ist die absolute Dosismessung besonders schwierig.

Es stehen grundsätzlich mehrere Möglichkeiten für die Dosismessung ionisierender Strahlung offen. Am häufigsten wird ionometrisch die Dosis bestimmt.

* Eine genaue Dosierung war bis jetzt wegen fehlender Eichung des Betatrons bei Bestrahlung mit dem "Augentubus" nicht möglich.

** Bei Bestrahlung mit konventionellen Röntgenanlagen wird die Dosisleistung in R/min (stattdessen neuerdings A/kg) angegeben. Das ist bei Verwendung eines Betatrons zur Erzeugung der Elektronen wegen Leistungsschwankungen nicht möglich. Deswegen wird als "Dosisleistung" in diesem Fall R/Skt. am Monitor des Betatrons verwendet.

Für relative Tiefendosismessungen verwendet man häufig die Filmdosimetrie. Selbst die kleinsten handelsüblichen Ionisationskammern sind bei sehr kleinen Feldern, wie sie bei der Ciliarkörperbestrahlung mit dem Augentubus auftreten, nicht anwendbar, da ihr Querschnitt bereits größer ist als das ganze zu messende Feld. Als geeigneter bietet sich hier die Filmdosimetrie an. Sie gestattet, wenn gewisse Voraussetzungen erfüllt sind, eine Messung der Dosis in Richtung des Zentralstrahles eines Strahlenbündels (Def. der Tiefendosiskurve). Dabei sind die dosimetrischen Eigenschaften des Films besonders wegen seiner Energieabhängigkeit im allgemeinen wenig befriedigend. Dem steht jedoch, im Vergleich zu anderen Dosimetertypen, das unerreichbare räumliche Auflösungsvermögen gegenüber.

Das kommt besonders zum Tragen, wo es die experimentelle Feststellung ganzer Dosisverteilungen betrifft.

Die Auswertung der Filmschwärzung erfolgt mittels eines Densitometers, das die Absorption sichtbaren Lichts durch die Filmschwärzung mißt.

Voraussetzung ist die Möglichkeit, der Filmschwärzung eine bestimmte Dosis zuzuordnen zu können. Deshalb soll zuerst Grundsätzliches über das Verhalten von Korpuskularstrahlen in Materie und ihre Einwirkung auf das verwendete Filmmaterial gesagt werden.

2. Methodik

2.1. Grundlagen

2.1.1. Verhalten von Korpuskularstrahlen in Materie

Zur Behandlung oberflächlich liegender Herde werden in der Strahlentherapie neben weichen Röntgenstrahlen hauptsächlich Korpuskularstrahlen verwendet.

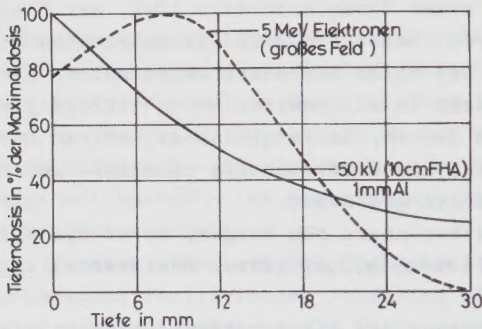


Abb. 1: Vergleich der Tiefendosiskurven von Elektronen einer Anfangsenergie von 5 MeV bei großem Feld und weichen Röntgenstrahlen einer Erzeugungsspannung von 50 kV. Nach Graul u. Wachsmann - Dimotsis (13,15).

Ein Blick auf Abb. 1 zeigt sofort, daß von einer homogenen Durchstrahlung und einer Schonung des Untergrundes bei Röntgenstrahlen selbst bei den Bedingungen der Nahbestrahlung nicht die Rede sein kann. Sehr viel günstiger erscheint die Tiefendosiskurve der schnellen Elektronen.

Die in der Therapie verwendeten Korpuskularstrahlen (2) stammen - mit wenigen Ausnahmen, wie z.B. Hauttherapie mit Sr^{90} - Betastrahlen - aus Teilchenbeschleunigern (z.B. Betatron). Sie haben eine einheitliche Anfangsenergie.

Der Strahl ist relativ gut gebündelt. Dadurch nimmt die Intensität der Strahlung mit dem Abstand von der Quelle nur wenig ab ($1/r^2$ -Gesetz hier nicht gültig!). Der größte Vorteil der Korpuskularstrahlen besteht in ihrer definierten Eindringtiefe (Reichweite), die mit der Energie zunimmt. Die Energieabgabe eines Teilchens pro Bahnstück (dE/dx) ist umso größer, je langsamer das Teilchen infolge der Abbremsung wird. Aus diesen Tatsachen resultieren die charakteristischen Tiefendosiskurven:

a) Schwere Teilchen: Protonen, Deuteronen.

Die Tiefendosiskurve von schweren geladenen Teilchen zeigt einen therapeutisch äußerst günstigen Verlauf: ein hohes, räumlich eng begrenztes Dosismaximum in der Tiefe, gefolgt von einem sehr steilen Dosisabfall. Die Lage dieses Dosismaximums läßt sich durch die Energie der Teilchen weitgehend bestimmen. Therapeutisch verwendbare Eindringtiefen lassen sich jedoch nur mit hohen Energien erzeugen und erfordern daher einen sehr hohen technischen und finanziellen Aufwand (z.B. Zyklotron).

b) Schnelle Elektronen:

Schnelle Elektronen von Teilchenbeschleunigern erfahren beim Eindringen in das Gewebe zunächst nur eine geringfügige Abbremsung, werden jedoch wegen ihrer kleinen Masse leicht aus ihrer Bahn abgelenkt. Infolge der dadurch bedingten schrägen Bahnen erhöht sich die Energieabgabe pro cm Schicht in Richtung des primären Strahlenbündels und damit die Dosis: die Tiefendosiskurve steigt zunächst an. Auch die Erzeugung energiereicher Sekundärelektronen (β -Teilchen) trägt zum Anstieg der Tiefendosiskurve bei. Anschließend folgt ein mehr oder weniger steiler Abfall der Tiefendosiskurve, da als Folge der Abbremsung die Zahl der die Flächeneinheit

durchquerenden Elektronen durch "diffuse Streuung" schneller abnimmt, als die Energieabgabe pro Bahnstück und Teilchen zunimmt. Die Tiefendosiskurve zeigt daher ein mehr oder weniger breites Maximum, das etwa bei einem Drittel der Reichweite der Elektronen liegt. Der Vorteil der Verwendung schneller Elektronen in der Strahlentherapie liegt also in den erreichbaren größeren Tiefen der Lage des Dosismaximums, sowie in dessen relativer Höhe (gute Schonung des vor dem Herd liegenden Gewebes).

2.1.2. Die Einwirkung von β -Strahlen auf den Film

2.1.2.1. Die Filmempfindlichkeit

Die Entstehung des latenten Bildes in der Emulsion unter der Einwirkung ionisierender Strahlen wurde von Gurney und Mott mit Hilfe des Bändermodelles des AgBr-Kristalles erklärt (3). Durch den Verstärkungsfaktor 10^8 - 10^{11} beim Entwickeln ist der Film eines der empfindlichsten Dosimeter. Geladene Teilchen müssen, um ein Korn entwickelbar zu machen, eine Energie von einigen keV in ihm abgeben. Es folgt daraus, daß die Empfindlichkeit fotografischer Schichten mit der Korngröße zunimmt - diesen Sachverhalt macht man sich auch für die Auswahl des Filmmaterials in der Röntgendiagnostik zunutze - und daß sie von der Energie der belichtenden Strahlung abhängt. Die fotografische Schwärzung ist der in der Schicht abgegebenen Energie proportional. Glocker hat dies bei β -Strahlen für Energien von 0,01-2 MeV nachgewiesen. Die Schwärzungskurven (= Gradationskurven) für Quantenstrahlen und für β -Strahlen haben, im Gegensatz zu denen von Licht, keinen Schwellenwert. In der Regel wird durch einen Treffer schon genug Energie übertragen um das Korn entwickelbar zu machen. Da der Film

in einer Verpackung aus Papier steckt, wird besonders bei Elektronen ein Teil der Strahlung in der Verpackung absorbiert. Unterhalb einer Mindestenergie, die von der Dicke der Verpackung des Filmmaterials abhängt, ist Filmdosimetrie nicht möglich.

2.1.2.2. Die Energieabgabe von β -Strahlen

β -Strahlen geben ihre Energie durch Ionisation und Anregung der absorbierenden Atome ab. Der Energieverlust durch Bremsstrahlung wird erst für Energien über 10 MeV merklich. Abb. 2 zeigt den Energieverlust $\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dE}{dx}$ von Elektronen in Wasser, das hinsichtlich seiner Absorptionseigenschaften etwa Gewebe oder Gelatine entspricht.

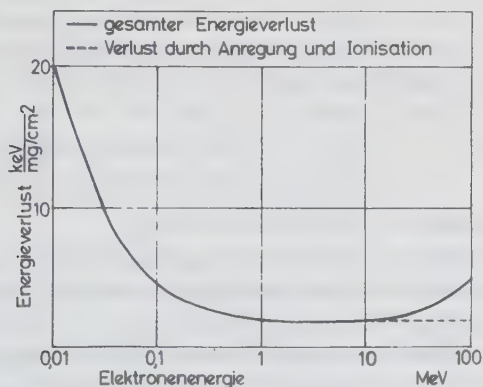


Abb. 2: Energieverlust $\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dE}{dx}$ von Elektronen in Wasser pro Schichtdickeneinheit in mg/cm^2 nach Jaeger (14). Die Tatsache, daß Elektronen einen Teil ihrer Energie beim Durchgang durch Materie als β -Strahlen abgeben, ist für ihren fotografischen Nachweis wichtig. Die differentielle Energieabgabe der Elektronen ist nämlich abhängig von ihrer Energie. Es gibt einen Energiebereich

derart, daß Elektronen solcher Energie auf der Weglänge eines Korndurchmessers weniger Energie abgeben als für ihre Entwicklung nötig ist. Sie könnten den Film nicht schwärzen. Die Energieabgabe der erzeugten δ -Strahlen genügt jedoch für die Entwicklung. Es werden z.B. bei 1 MeV-Elektronen 20% der Energie im AgBr als δ -Strahlen von 1-10 keV Energie abgegeben (4).

2.1.2.3. Die Schwärzung

Definition

Zur quantitativen Bestimmung der Schwärzung wird die Lichtabsorption durch den Film mit Hilfe eines Densitometers gemessen. Sie ist nahezu proportional der Zahl der entwickelten Körner pro Flächeneinheit (3). Die Schwärzung S ist definiert als der dekadische Logarithmus der Opazität I_0/I ;

$$S = \log I_0/I \quad [1]$$

wobei I_0 die einfallende Intensität und I die durchgelassene Intensität bedeuten.

Schwärzung - Dosis - Beziehung

Zur Erklärung der Beziehung zwischen Dosis und Schwärzung muß man nach Hine-Brownell folgende vereinfachende Annahmen machen:

- a) Ein Korn sei durch einen Treffer entwickelbar.
- b) Alle Körner haben dieselbe Fläche, die sich bei der Entwicklung nicht ändert.
- c) Es werden schnelle Korpuskel eingestrahlt, die in der Schicht nicht gestreut oder zu einem größeren Prozentsatz absorbiert werden (Reichweite muß größer als Filmdicke sein).
- d) Alle Teilchen fallen senkrecht ein.

Dann besteht zwischen der Anzahl N_0 der Körner pro cm^2 in der Emulsion und der Anzahl N der getroffenen Körner die Beziehung

$$N = N_0 (1 - e^{-A\phi}) \quad [2]$$

wobei

A die Kornfläche und

ϕ die Fluenz

bedeuten.

Inwieweit die gefundenen Schwärzungskurven der Beziehung [2] gehorchen wird in Abschnitt 2.2. diskutiert. Außerdem wird dort gezeigt, wie sich die Abweichung d (Einfall parallel zur Filmebene) auf die Schwärzungskurve auswirkt.

Fluenz ϕ und (Energie-) Dosis D sind durch die Beziehung

$$D = \frac{1}{\zeta} \frac{dE}{dx} \cdot \phi \quad [3]$$

verknüpft.

Dabei steht $\frac{1}{\zeta} \frac{dE}{dx}$ für das Massenbremsvermögen der Elektronen. Der Übergang von der gemessenen Dosis (D^F) auf interessierende Dosis im Gewebe (D^M) ist unter den verallgemeinerten Bragg-Gray-Bedingungen möglich:

$$D^M = \frac{(1/\zeta \cdot dE/dx)^{(M)}}{(1/\zeta \cdot dE/dx)^{(F)}} D^F \quad [4]$$

Da das relative Massenbremsvermögen für Gewebe (Plexiglas) und AgBr in Abhängigkeit von der Energie sehr ähnlich verläuft, ist zu erwarten, daß das Verhältnis der Filmschwärzung zur Dosis im Gewebe sich nur wenig mit der Energie der Elektronen ändert.

Für die Beziehung zwischen Dosis und Schwärzung gibt es drei gebräuchliche Darstellungen:

- a) Lineare Aufzeichnung
- b) Halblogarithmische Aufzeichnung
- c) Doppeltlogarithmische Aufzeichnung

Neben der gebräuchlichen linearen Darstellung wird häufig die halblogarithmische Darstellung verwendet, die auch als "charakteristische Kurve" oder "Hurter-Driffield-Kurve" bezeichnet wird. Aus ihr kann unmittelbar der Kontrast der speziellen Emulsion $dS/dlg D$ abgelesen werden.

2.2. Versuchsanordnung

Eichkurve

Die theoretischen Grundlagen der Schwärzung-Dosis-Beziehung sind gelegt. Um eine Eichkurve aufzunehmen, wurde der Film senkrecht zum Strahlengang exponiert. Die Versuchsanordnung zeigt Abb. 3. Eine 10 cm dicke Plexiglasunterlage diene als Rückstreukörper und sollte gleichzeitig weitgehend die Auslösung von Röntgenstrahlen verhindern. Eine in seiner Dicke dem jeweiligen Dosismaximum der verwendeten Energie entsprechende Plexiglasschicht über dem Film diene als Ersatz für das Gewebe, da es ähnliche Absorptionseigenschaften aufweist.

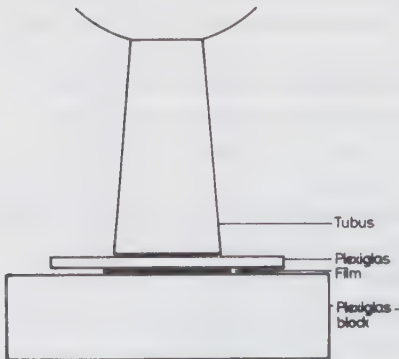


Abb. 3
Versuchsanordnung für die Aufnahme der Gradedationskurven und die Abhängigkeit der Schwärzung von der Energie.

Nach Markus (5) sind dabei zwei Stoffe einander dosimetrisch äquivalent, wenn

1. die Absorptionskoeffizienten μ_a
2. die Richtungsverteilung der (Sekundär-)Elektronen und
3. die Größe des totalen Bremsvermögens für Elektronen in beiden Substanzen übereinstimmen.

Ein Vergleich der Energieabsorptionskoeffizienten (16) zeigt, daß μ_a von Gewebe, Wasser und Plexiglas oberhalb 100 keV noch um etwa 10 % differieren. Zudem ist die Forderung 1 bei Elektronenstrahlung von untergeordneter Bedeutung, da nur einige Prozent der Energie in Bremsstrahlung umgesetzt werden.

Bei konstanter mittlerer Energie gilt für den mittleren quadratischen Streuwinkel $\bar{\vartheta}^2$ der Elektronen näherungsweise (6)

$$\bar{\vartheta}^2 \sim N_e Z_{\text{eff lin}} \quad [5]$$

N_e bedeutet dabei die Elektronenkonzentration und $Z_{\text{eff lin}}$ die effektive Ordnungszahl mit

$$Z_{\text{eff lin}} = \sum a_i Z_i \quad [6]$$

wobei a_i gleich Bruchanteil der jeweiligen Atomsorte an der Elektronenkonzentration ist. Für

$$\frac{\bar{\vartheta}^2_{\text{Plexiglas}}}{\bar{\vartheta}^2_{\text{H}_2\text{O}}} \quad \text{findet (5) man den Wert}$$

von 1,02.

Das Verhältnis des totalen Bremsvermögens für die zu vergleichenden Substanzen (Plexiglas und Wasser bzw. Gewebe) ist in guter Näherung gleich 1, wenn die Elektronenkonzentration in den Materialien übereinstimmt. Nach (6) gilt für

$$\frac{N_e \text{ Plexiglas}}{N_e \text{ H}_2\text{O}} \approx 0,975 \quad [7]$$

Damit ist gezeigt, daß Plexiglas mit hinreichender Näherung als Phantomschubstanz verwendet werden kann. Die für die Energieabsorption, bei den Bedingungen der Ciliarkörperbestrahlung, bedeutsamen Bestandteile des Auges sind Glaskörper, Cornea und Sklera. Ihr Wassergehalt bestimmt das Absorptionsvermögen für Schnelle Elektronen. Nach J. Rohen (17) besteht der Glaskörper - ein hydrophiles Gel - zu 98,7 % aus Wasser, das als Hydratationswasser an Eiweiß und Mukopolysaccharide gebunden ist. Der Wassergehalt der Cornea und Sklera wird von Kárl Velhagen (18) mit 75 - 78 bzw. 70 % angegeben. Damit ist bewiesen, daß die Energieabsorptionsbedingungen in Wasser und im Auge als fast identisch zu betrachten sind.

Tiefendosiskurven

Um die Tiefendosiskurven aufzunehmen, wurde der Film parallel zum Strahlengang in Plexiglas eingebettet und in den Zentralstrahl gebracht. (s. Abb. 4).

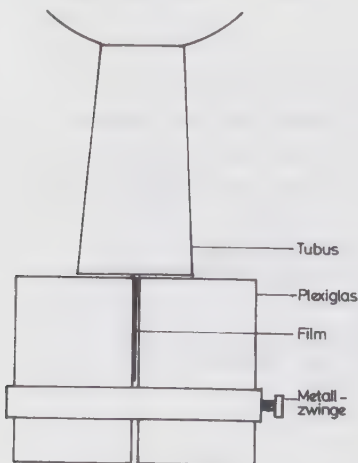


Abb. 4: Versuchsanordnung zum Aufnehmen der Tiefendosiskurven. Der Film liegt parallel zum Strahlengang genau im Zentralstrahl.

Die Problematik dieser Versuchsanordnung wurde von Rassow und Strüter (7) behandelt. Danach ist das Grundproblem der Ausdeutung parallel zur Einstrahlrichtung exponierter Filme die Transformation der Schwärzungsverteilung auf dem Film in die gesuchte Dosisverteilung. Beide Relativverteilungen sind nur in dem Spezialfall identisch, daß ein linearer, phantomtiefenunabhängiger und von der parallelen Einstrahlrichtung unbeeinflusster Zusammenhang von Schwärzung und Dosis besteht. Dieser wurde geprüft durch Vergleich der Schwärzung mit der ionometrisch gemessenen Dosis (s. spätere Abb.).

Außerdem wurde der Einfluß der Einstrahlrichtung durch eine geringe Variation des Einfallswinkels überprüft; bei dieser Versuchsanordnung bildete der Film mit der Einfallsrichtung der Elektronen einen Winkel von einigen Grad (s. Abb. 5).

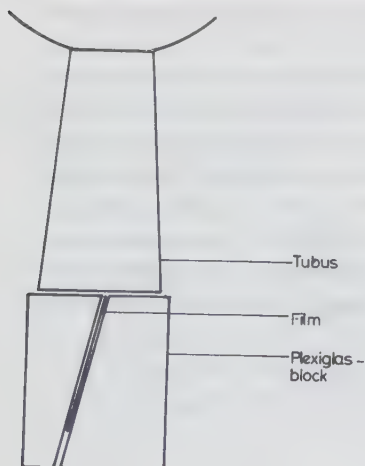


Abb. 5: Versuchsanordnung bei Schräger Exposition des Films zum Strahlengang.

Als Fehlerquelle kommt außerdem der Einfluß der Filmverpackung - im vorliegenden Fall die handelsübliche Papierverpackung 9 cm x 12 cm mit einer Dicke von $0,017 \text{ g/cm}^2$ - und geringer Luftspalten zwischen Film, Verpackung, und Phantommaterial in Frage. Die Untersuchungen von Rassow und Strüter zeigen aber, daß kein Einfluß der Papierverpackung auf die Schwärzung zu erwarten ist, wenn das seitliche Phantommaterial eng an den Film gepresst wird. Ein auch nur 1 mm dicker Luftspalt verhindert jedoch den systematischen Schwärzung-Dosis-Zusammenhang erheblich und macht sich besonders im Bereich streng parallelen Strahleneinfalles bemerkbar, also kurz hinter der Strahleneintrittsfläche, wo der aufgestreute Strahlenanteil noch gering ist. Im vorliegenden Fall wurden zwei 5 cm dicke Plexiglasblöcke mit einer Metallzwinge fest von beiden Seiten an den Film gepresst und darauf geachtet, daß die Filmkante während der Bestrahlung genau mit den Plexiglasblöcken abschloß.

Eine weitere Fehlerquelle stellt unter Umständen die Änderung des Phantomtiefenabhängigkeitsfaktors F_p dar. Gedacht ist an die sich ändernde Filmempfindlichkeit bei sinkender Energie der Elektronen in der Tiefe des Phantoms. Wie später aus der Abb. 8 zu ersehen ist, kann dieser Einfluß vernachlässigt werden. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Rassow und Strüter (7), die einen maximalen Fehler von 5 %, bei Vernachlässigung der Änderung von F_p , angeben. Außerdem nimmt seine Größe mit fallender Feldgröße ab; diese ist bei der Ciliarkörperbestrahlung extrem klein.

2.3. Standardisierung der Versuchsbedingungen

Um an verschiedenen Tagen bei gleichen Energiedosen gleiche Filmschwärzungen zu erreichen und um den relativen Schwärzungsverteilungen der Tiefendosis-kurven an Hand der Eichkurve die genauen Dosisverteilungen zuordnen zu können, mußte die Reproduzierbarkeit der Versuche gewährleistet sein. Zu diesem Zweck mußten die Arbeitsbedingungen standardisiert werden. Darunter fallen konstante Belichtungs-, Verarbeitungs- und Auswertungsbedingungen. Nur bei genauester Einhaltung dieser Forderungen ist es möglich, einen Vergleich zwischen unterschiedlich belichteten Proben eines gegebenen Fotomaterials durchzuführen.

Alle Versuche wurden zuerst mit einem für die Belange der Dosimetrie noch relativ empfindlichen Film mehrmals durchgeführt. Dadurch trat der relative Fehler deutlich in Erscheinung und konnte durch Korrekturen in der Versuchsanordnung verkleinert werden. Anschließend wurden sie mit einem extrem unempfindlichen Filmmaterial, dessen Eigenschaften besonders interessant sind, da es noch nicht im Handel ist, wiederholt. Durch die bei den Vorversuchen gewonnenen Erfahrungen und die Verwendung des unempfindlichen Filmmaterials, das eine exakte Dosierung in einem größeren Meßbereich gestattete, wurde der relative Fehler erheblich gesenkt.

2.3.1. Filmmaterial und Filmverpackung

Zur Standardisierung der Versuchsbedingungen bot sich der für β -Strahlendosimetrie relativ empfindliche Gevatone N_{33} an, ein einseitig begossener foto-technischer Film der Firma Agfa Gaevert (8): Gesamtdicke 0,235 mm (Unterlage aus 0,2 mm Triacetat), lichtempfindliche Schicht 0,024 mm (AgBr-Gehalt $1,2 \text{ mg/cm}^2$), mittlerer AgBr-Korndurchmesser 0,75 - $1,0 \mu\text{m}$. Einer Dosis von 40 R entsprach die Schwärzung 1. Ein Nachteil war seine verhältnismäßig inhomogene Schwärzung. Bei Bestrahlung mit 80 R erhielt man eine mittlere Schwärzung von 1,4, bei einem Fehler von $\epsilon = 0,15$.

Für die Durchführung der Versuche war der Cronex Radiation Imaging Film der Firma Du Pont vorgesehen und erwies sich, wie später gezeigt wird, als sehr gut geeignet. Es handelt sich hier um einen Film mit extrem unempfindlicher Emulsion, die einseitig auf Cronar-Unterlage gegossen ist. Als Anwendungsmöglichkeiten wurde an Dosismessung in Phantomen und an die Dokumentation in der Röntgentherapie gedacht. Seine Abmessungen betragen: Unterlage 0,176 mm, Emulsionsschicht 0,006 mm, Rückguß 0,004 mm.

Die Schwärzung 1 wird, wie aus der später folgenden Abb. 7 zu entnehmen sein wird, unter den speziellen Entwicklungsbedingungen bei etwa 190 R erreicht. Der mittlere Fehler ϵ lag bei 0,06.

Die Filme wurden in der Dunkelkammer auf die Größe 9 x 12 cm zurechtgeschnitten und einzeln in die handelsübliche Filmverpackung 9 x 12 cm verpackt. Um Fehler bei der Tiefendosismessung zu vermeiden, wurde die Pappe in der Verpackung entfernt. Die Aufbewahrung erfolgte kühl, trocken und geschützt vor jeglicher Strahlung.

2.3.2. Definierte Bedingungen am Betatron

Ein gewisser Unsicherheitsfaktor mag in der Bestrahlungsdosis liegen, da die Ablesegenaugigkeit am Betatron kaum besser als auf 0,5 Skalenteile möglich ist. ($\hat{=}$ bei 4,5 MeV ca. 5,3 R).

Die Tiefendosiskurve wurde bei 30 Skalenteilen am Monitor aufgenommen (0,5 Skt $\hat{=}$ rel. Fehler von ca. 1,5 %). Strahlenenergie, Tubus (Feldgröße), Streufolie und Austrittswinkel der Elektronen wurden konstant gehalten.

2.3.3. Filmverarbeitung

Schwierig gestaltete sich die Standardisierung der Entwicklungsbedingungen.

- a) Es wurde der Isorapid-Entwickler von Siemens verwendet. Die Temperatur des Entwicklerbades wurde mittels eines Thermostaten konstant auf 18°C gehalten (Schwankungen kleiner $\pm$ 0,2°C).
- b) Die Entwicklungszeit von 6 min und Fixierzeit von 15 min wurden genau eingehalten. Ein Versuch über die Abhängigkeit der Filmschwärzung von der Ent-

wicklungszeit sollte über den maximalen Fehler während des Entwicklungsprozesses Auskunft geben. Belichtet wurden vier Filme mit gleichen Dosen. Sie wurden in einem Zeitraum von 4 - 10 min in Abständen von 2 min entwickelt. Wie Abb. 6 zeigt, ergibt sich eine Gerade mit geringer Steigung. Die Dauer der einzelnen Entwicklungsvorgänge wird höchstens um einige Sekunden differieren. Selbst wenn man mit einer Schwankung von 25 sec rechnet, wird höchstens ein Schwärzungsunterschied von 0,05 erreicht (s. Abb. 6). Dieser Fehler liegt noch innerhalb der Ungenauigkeit der Schwärzungskurve; d.h. die Einhaltung der Entwicklungszeit ist nicht besonders kritisch.

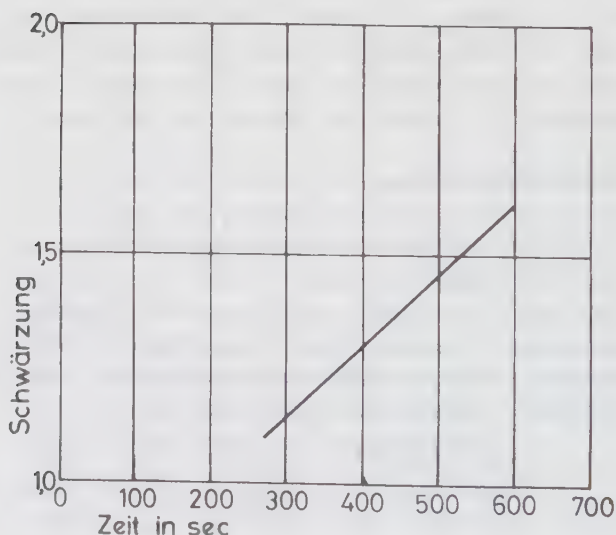


Abb. 6: Abhängigkeit der Filmschwärzung von der Entwicklungszeit bei sonst konstanten Entwicklungsbedingungen.

- c) Frisch angesetzter Entwickler zeigte einen sehr starken Qualitätsabfall (Oxidation durch Luft-sauerstoff), sodaß sich seine Anwendung verbot. Er war erst nach einer gewissen Zeit der Stabilisierung zu gebrauchen. Der auch dann noch bestehende kontinuierliche Qualitätsabfall zwang dazu, die abhängigen Versuche in einem kurzen Zeitraum durchzuführen (in ca. 1 Woche). Die Eichkurve wurde über den gesamten Zeitraum der Versuchsdauer wiederholt aufgenommen. Für die unsystematischen Schwankungen der Schwärzung auch während des kurzen Versuchszeitraumes wurde aus den Werten eine "mittlere Schwärzungskurve" gebildet und die mittleren Fehler errechnet (s.2.3.5.).
- d) Um eine gleichmäßige Ausentwicklung des ganzen Filmes zu gewährleisten, muß die Konzentration in allen Tiefen des Entwicklerbades gleich sein. Dies wurde dadurch erreicht, daß während des Entwicklungsvorganges N_2 durch den Entwickler hindurchperlte.
- e) Wenn sich die Belichtungen über mehrere Tage hinziehen, bzw. zwischen Belichtung und Entwicklung mehrere Tage liegen, könnte ein Latenzbildschwind (Fading) auftreten (3). Er ist zurückzuführen auf chemische Einflüsse von Sauerstoff und Wasser der Luft und thermische Dissoziation der Keime. Er ist umso geringer, je höher der p_H -Wert ist. Man kann diese Fehlerquelle umgehen, indem man die Filme sofort im Anschluß an die Belichtung entwickelt. Dies wurde bei allen Versuchen auch getan.

2.3.4. Auswertung am Densitometer

Das sehr empfindliche Densitometer erforderte konstante Lichtverhältnisse im Raum und mehrmaliges Auswerten der gleichen Filme. Die inhomogene Schwärzung der Filme wurde durch Auswertung an mehreren Stellen und Mittelwertbildung ausgeglichen. Auch der unbelichtete Film hat eine geringe Grundschwärzung, den Grundschleier, die mit der Lagerzeit zunimmt (3). Er setzt sich zusammen aus einer Schleierschwärzung der Schicht, der Lichtabsorption und Lichtreflexion in Träger und Gelatine bei der Messung. Von den gemessenen Schwärzungswerten muß der Schleier abgezogen werden, damit man die auf die Strahleneinwirkung zurückgehende Schwärzung erhält. Seine Größe beträgt beim Cronex Radiation Imaging Film wie beim Gevatone N₃₃ Film etwa 0.03.

2.3.5. Mittelwertbildung und Fehler

Wegen der erwähnten Inhomogenität der Schwärzung auf einem Film und Schwankungen bei verschiedenen Versuchen mußte man Mittelwerte bilden und Fehler angeben. In diesem Fehler sind also enthalten:
die Inhomogenität des einzelnen Films
die Änderung der Empfindlichkeit von Film zu Film,
die Schwankungen beim Entwicklungsvorgang (Änderung des Entwicklers, Entwicklungszeit) und
die Schwankungen der Bestrahlungsbedingungen.
Die eingezeichneten Fehler sind immer die Fehler der Einzelmessung.

3. Durchgeführte Messungen

3.1. Erstellen der Eichkurve

Um eine Beziehung zwischen Dosis und Schwärzung herzustellen, mußte zuerst eine Eichkurve aufgenommen werden (Versuchsanordnung s. Abb. 3). Bei den Energien 4,5 und 9 MeV wurden jeweils im Dosismaximum die Filme mit steigenden Dosen belichtet. Den Schwärzungs - Dosis- Zusammenhang veranschaulicht Abb. 7.

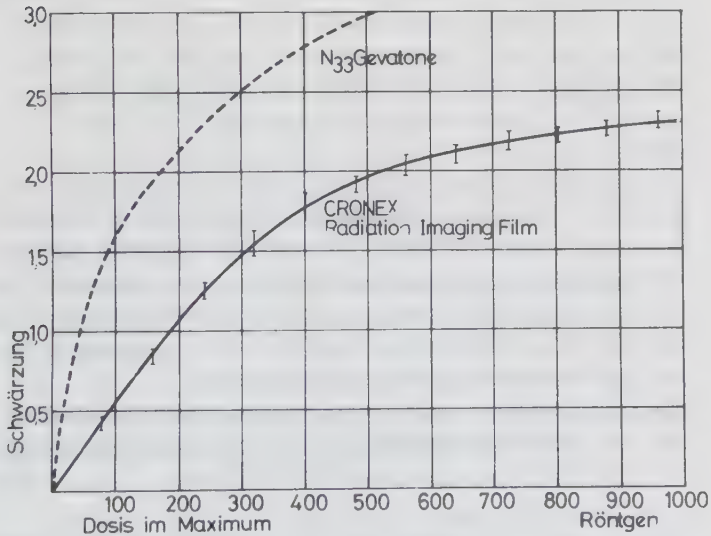


Abb. 7: Schwärzungskurven des N₃₃ Gevatone Films und des Cronex* Radiation Imaging Films bei den speziellen Entwicklungsbedingungen (s. 2.3.3.). Eingezeichnet sind außerdem einige Fehler der Einzelmessung.

Aus der Abb. 7 wird ersichtlich, daß der Cronex Radiation Imaging Film extrem unempfindlich ist ($S = 1 \hat{=} \text{Dosis von } 190 \text{ R}$) und sich somit für die Dosismessung Schneller Elektronen sehr gut eignet.

Ein linearer Zusammenhang zwischen Schwärzung und Dosis ist etwa in dem Bereich 0 bis 300 R gegeben. Das entspricht dem Schwärzungsbereich 0 bis 1,5.

(Vergleiche: Die Tiefendosiskurven wurden mit etwa 200 R im Dosismaximum aufgenommen, also im linearen Schwärzungs - Dosis - Bereich). Die Schwärzungskurve stellt eine mittlere Kurve dar, die aus allen Schwärzungskurven während der gesamten Versuchsdauer von mehreren Tagen (ca. 8) gewonnen wurde. Eingezeichnet sind einige Fehler der Einzelmessung. Die Größe des Fehlers variiert im betrachteten Bereich nur wenig mit der Dosis; der mittlere Fehler beträgt unabhängig von der Dosis etwa 0,06. Zum Vergleich ist die Schwärzungskurve des Gevatone N_{33} Films mit eingezeichnet, die einen sehr viel steileren Anstieg und wesentlich kleineren linearen Bereich (ca. 0 bis 100 R) aufweist. Es muß im nächsten Kapitel bewiesen werden, daß die Filmschwärzung unabhängig von der Energie der Elektronen ist. Nur dann ist ein eindeutiger Schluß von der Filmschwärzung auf die absolute Dosis bei den Tiefendosismessungen möglich.

Wie in Abschnitt 2.1.2.3. beschrieben, erwartet man für die Schwärzungskurven einen Verlauf entsprechend*

$$S = S_{\infty} (1 - e^{-\text{const. } D}) \quad [2]$$

* Dabei wird die Proportionalität zwischen getroffenen Körnern und Schwärzung, Gesamtzahl der vorhandenen Körner und maximaler Schwärzung und Fluenz und Dosis vorausgesetzt.

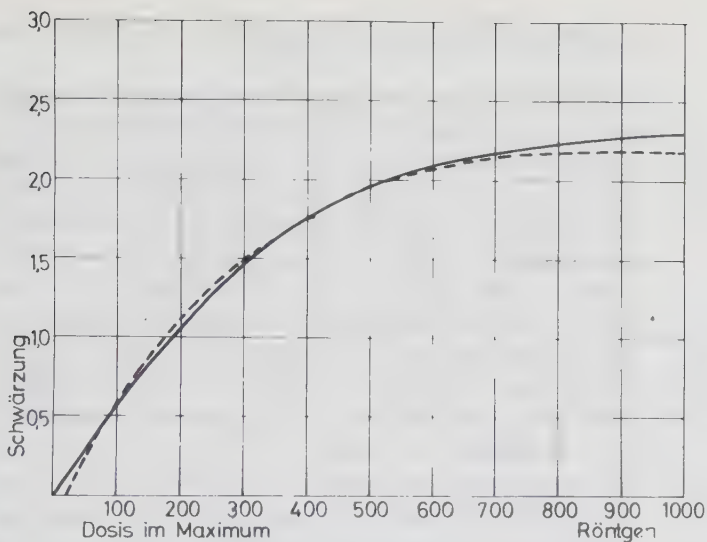


Abb. 7a: Vergleich der experimentell (—) gewonnenen Gradationskurve mit der angepaßten (---).

$$S = 2,47 (1 - e^{-0,004 D})$$

Die Abbildung 7a zeigt die experimentell gefundene Schwärzungskurve und die angepaßte Funktion. Für $D \rightarrow 0$ erhält man

$$S = \text{const.} S_{\infty} D \quad [8]$$

Der lineare Zusammenhang reicht beim Cronex Radiation Imaging Film etwa bis zur Schwärzung 1,5.

Aufzuzeigen, daß die Schwärzung-Dosis-Beziehung nicht durch die Energie der Elektronen beeinflusst wird, war Aufgabe des folgenden Versuches. Die Notwendigkeit dieses Nachweises ergibt sich aus der Forderung, daß zwischen Dosis und Schwärzung ein von der Energie unbeeinflusster Zusammenhang besteht. Das ist besonders wichtig bei den Tiefendosiskurven. Die Elektronen verlieren nämlich beim Eindringen in Materie nach jedem Ionisationsvorgang an Energie, bis sie endgültig absorbiert werden, d.h. sie durchlaufen den Energiebereich von $E = E_0$ bis $E = 0$, wobei E_0 die Anfangsenergie ist.

Bei ähnlicher Versuchsanordnung wie in Abb. 3 wurden die Filme mit gleichen Dosen, aber mit verschiedenen Energien bestrahlt. Hierzu mußte jeweils die Tiefe des Films, d.h. die Plexiglasschicht über dem Film, verändert werden, da bei jeder Energie das Dosismaximum in einer bestimmten definierten Tiefe liegt. Im untersuchten Bereich von 4 bis 17 MeV kann die Filmschwärzung als unabhängig von der Energie der einfallenden Elektronen betrachtet werden, wie die Abb. 8 zeigt. Eingezeichnet sind wieder die Mittelwerte aus fünf Messungen und der relative Fehler der Einzelmessung.

Interessant für die hier vorliegende Fragestellung wären jedoch noch kleinere Energien, da geplant war, die Bestrahlung am Ciliarkörper des Auges mit einer Energie von 4 oder 5 MeV vorzunehmen, d.h. es wird

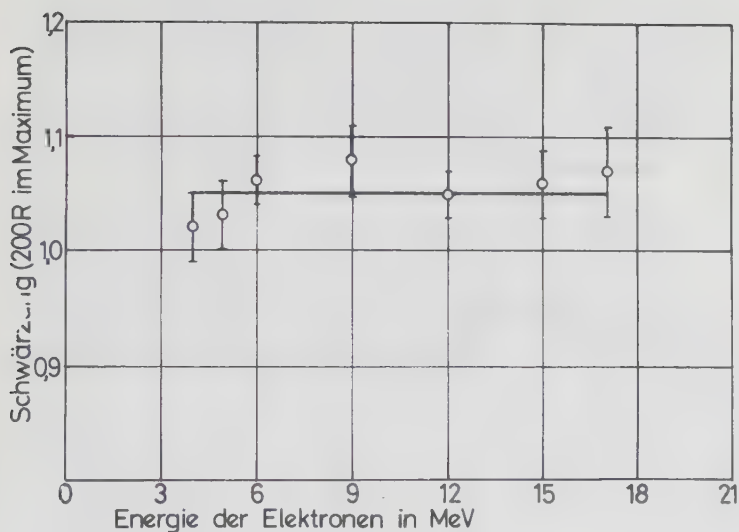


Abb. 8: Abhängigkeit der Filmschwärzung von der Energie der Elektronen im Bereich 4 - 17 MeV.

von den Elektronen der Energiebereich von 5 MeV abwärts durchlaufen. Diese kleineren Energien können jedoch am Betatron des Instituts nicht erzeugt werden. Um die Frage zu beantworten, ob der verwendete Film bei niedrigen Elektronenenergien noch hinreichend energieunabhängig ist, wurde eine ionometrisch ge-

wonnene Tiefendosiskurve mit einer filmdosimetrisch gemessenen Kurve verglichen. Am Bahnende werden die Elektronen niedere Energiebereiche durchlaufen. Nur wenn der Film sich genügend energieunabhängig erweist, werden sich beide Kurven decken.

Das Ergebnis des Vergleiches zeigt Abbildung 9.

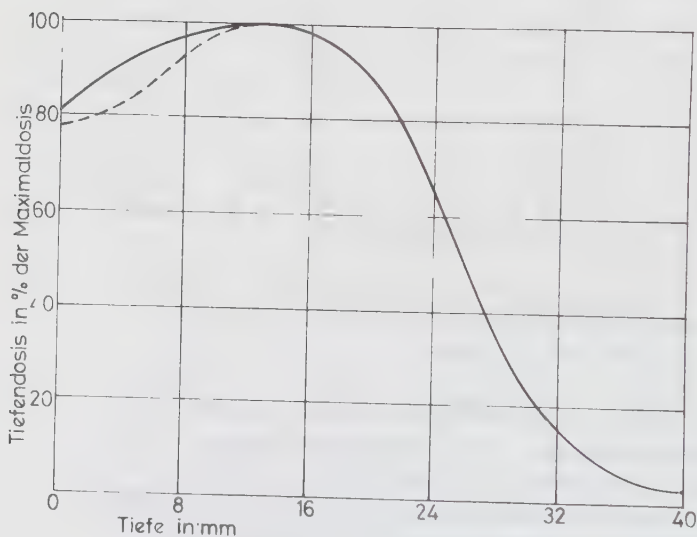


Abb. 9

Unterschied zwischen einer filmdosimetrisch (---) und ionometrisch (—) gewonnenen Tiefendosiskurve (9 MeV Elektronen).

Auffallend ist die Abweichung im Anfangsteil der Kurven. Die mit dem Film ermittelte Dosis ist deutlich geringer. Wie Rassow (9) nachgewiesen hat, erfolgt die Schwärzung hauptsächlich durch gestreute Elektronen; auf den ersten Millimetern ist jedoch die Aufstreuung des Elektronenbündels noch gering. Die Differenz zwischen den beiden Dosismessungen müßte kleiner werden oder verschwinden, wenn der Film nicht parallel, sondern leicht geneigt zur Einfallungsrichtung der Elektronen belichtet wird. Ein solches Experiment wurde durchgeführt. Abb. 10 zeigt das Ergebnis. (Die Energie der einfallenden Elektronen beträgt in diesem Fall 4,5 MeV).

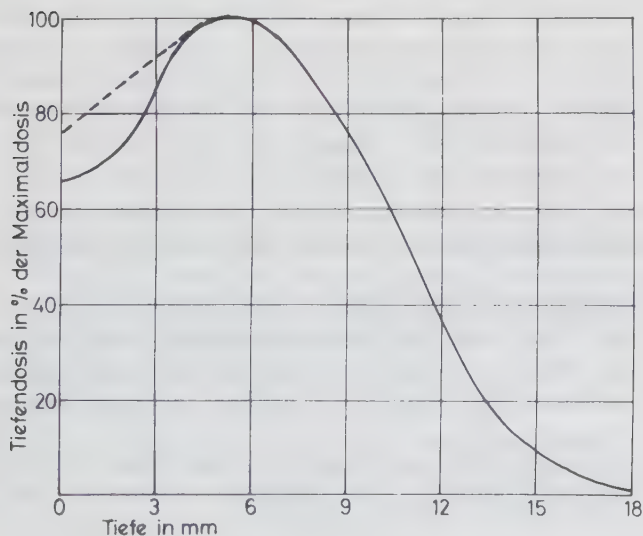


Abb. 10: Vergleich der Tiefendosiskurven bei schräger (---) und paralleler (—) Exposition des Films zum Strahlengang.

Steht der Film genau parallel zur Einfallsrichtung, erhält man die untere Kurve, steht der Film einige Grad geneigt zur Einfallsrichtung, die obere.* Qualitativ ist damit gezeigt, daß bei schräg stehendem Film die Tiefendosiskurve zumindest eher der ionometrisch ermittelten Tiefendosiskurve entspricht als bei senkrecht stehendem Film. Für die Dosisbestimmung beim "Augentubus" erwies sich diese Anordnung als ungünstig, da das Feld so klein war, daß es sich nicht mehr ganz mit der Filmebene schnitt. Im Anfangsteil der Tiefendosiskurve beim "Augentubus" muß deswegen mit einer Abweichung von etwa 5 % gerechnet werden. Mit zunehmender Tiefe decken sich die beiden relativen Kurven. Da sich in diesem Tiefenbereich die Energie der Elektronen verringert, bedeutet dies, daß auch für kleine Elektronenenergien keine Energieabhängigkeit vorliegt. Die Gerade in Abb. 8 kann man sich also nach links fortgesetzt denken. Dieser Schluß steht in Übereinstimmung mit den experimentellen Ergebnissen von Glocker (10) und Fehrentz und Zunter (8).

3.3. Tiefendosismessung unter "Augentubus" - Bedingungen

Nach der Standardisierung der Versuchsbedingungen, der Überprüfung der Reproduzierbarkeit und Vergleich der Methode mit anderen, entsprechenden Messungen, konnte an die eigentliche Aufgabe gegangen werden,

*Wegen der schrägen Exposition des Films wurde die Tiefe im Phantom unter Berücksichtigung des Kosinus des Neigungswinkels errechnet.

die Tiefendosis bei Bestrahlung mit dem "Augentubus" unter den Bedingungen der Ciliarkörperbestrahlung zu ermitteln.

Die Versuchsanordnung wurde bereits im Kapitel 2.2. behandelt. Einen Querschnitt durch das augennahe Ende des Tubuses zeigt die Abb. 11.

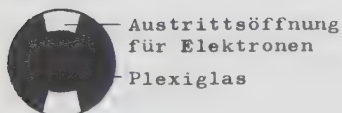


Abb. 11: Querschnitt durch das augennahe Ende des Tubuses.

Die Dosisverteilungen entlang des Zentralstrahls beider Felder sind in der nächsten Abbildung dargestellt. Exponiert wurde der Film bei diesem Versuch mit einer Dosis, der 30 Skalenteile am Monitor des Betatrons entsprachen. (Weitere Bestrahlungsbedingungen 4,5 MeV, Neigung 2, Streufolie 0).

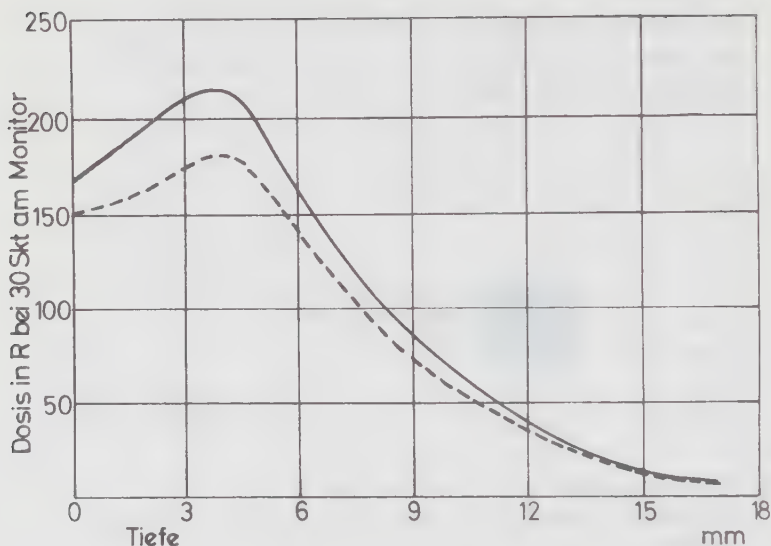


Abb. 12: Absolute Dosisverteilung der beiden "Augentubus"-Felder.

Dabei ist die Tiefendosiskurve für das obere und untere Feld getrennt aufgetragen. Überraschend ist der nicht ganz identische Verlauf. Die Abweichung zwischen den beiden Feldern im Dosismaximum beträgt nahezu 15 %. Für die Differenz könnten folgende Gründe verantwortlich sein:

1. der Teilchenstrom über die Öffnungen des "Augentubuses" ist nicht homogen,
2. die Neigung des Tubuses stimmt nicht mit der Flugbahn der Elektronen überein,
3. die beiden Felder sind verschieden groß.

- zu 1. Mit zunehmender Energie wird die Bündelung der Elektronen immer besser; das bedeutet, daß bei kleinen Energien die Feldverteilung homogener ist als bei großen. Der Dosisabfall von der Mitte des "Augentubuses" zum Rand beträgt so z.B. bei 16 MeV-Elektronen 17 %, bei 6 MeV-Elektronen dagegen nur noch 2,5 % (jeweils Streufolie 0). Zudem beträgt die Asymmetrie in der Dosis zwischen rechtem und linkem Feldrand weniger als 0.5 % (senkrecht zur Sollkreisebene).
- zu 2. Ein Verdrehen des "Augentubuses" um 90° müßte, wenn die Neigung eine Rolle spielt, die beiden Tiefendosiskurven beeinflussen (Asymmetrie in Richtung der Sollkreisebene). Solch eine Änderung konnte jedoch nicht beobachtet werden.
- zu 3. Der Tiefendosisverlauf ist, bedingt durch Streuung, erheblich von der Feldgröße abhängig (11,12). So variiert die Lage des Dosismaximums z.B. für 12 MeV-Elektronen zwischen 0 und 2 cm, bei einer Änderung des Felddurchmessers von 1 auf 8 cm; der maximale Unterschied in den Tiefendosiskurven beträgt in diesem Fall bis zu 70 %. Eine genaue Messung der beiden Felder des "Augentubuses" ergab einen Unterschied von 3 mm^2 ; das entspricht etwa einem Flächenunterschied von 10 % ($28 \text{ mm}^2/31 \text{ mm}^2$).

Der Unterschied im Verlauf der absoluten Tiefendosiskurven ist damit sicher zum Teil erklärt. Weitere Untersuchungen, insbesondere mit genau gleich großen Feldern, müssen zur endgültigen Klärung noch durchgeführt werden.

Die relativen Tiefendosiskurven für die beiden Felder unterscheiden sich dagegen nur gering (Abb. 13).

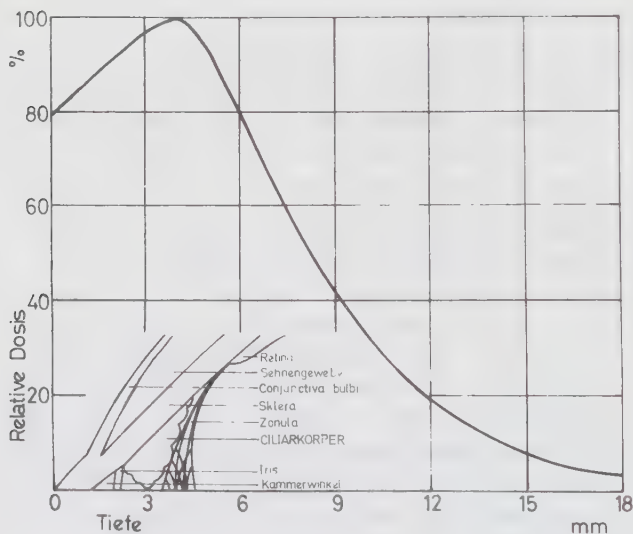


Abb. 13: Relative Dosisverteilung der beiden "Augentubusfelder". Eingezeichnet sind die anatomischen Verhältnisse am Auge.

Die Abweichungen gehen in der Zeichenungenauigkeit unter. Dabei müßte man erwarten, daß das Dosismaximum des kleineren Feldes in geringeren Tiefen auftritt als das Maximum des etwas größeren Feldes. Es scheint jedoch eher das Gegenteil der Fall zu sein, was jedoch sicher auf die Meßungenauigkeit zurückzuführen ist (Unterschied in der Lage des Dosismaximums nach Abb. 13 0,2 mm).

Mit der Angabe der "Dosisleistung" (Dosis/Skt. am Monitor), der Lage des Dosismaximums und der Tiefendosiskurve ist die gestellte Aufgabe gelöst.

4. Zusammenfassung

Bei der Bestrahlung des Ciliarkörpers des Auges mit Elektronen stellen sich wegen der Kleinheit des Bestrahlungsfeldes besondere dosimetrische Probleme. Die Dosismessung (absolut und relativ) kann in diesem Falle nur mit dem Film geschehen. Dazu wird ein eben auf den Markt gekommener sehr unempfindlicher Film erprobt. Seine Eigenschaften bei Bestrahlungen mit Elektronen werden untersucht und in der Arbeit wiedergegeben.

Literatur

- (1) E. Genée und G. Weitzel: Ciliarkörperbestrahlung mit schnellen Elektronen bei therapieresistentem Aphakieglaukom. Bericht über die 69. Zusammenkunft der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft in Heidelberg 1968.
- (2) J. Bernhardt, G. Hasl, H. Pauly, H. Pfister, M. Säbel, Th. Schmidt, H. Schüßler: Einführung in den Kursus der Radiologie einschließlich Strahlenschutzkursus (Teil 1); Institut für Medizinische Strahlenkunde Erlangen 1971.
- (3) Margherita Kohlhof: Filmdosimetrie von β -Strahlen; Diplomarbeit. Mai 1964 in Erlangen.
- (4) Hine Brownell: Radiation dosimetry; Academic Press Inc. Publishers New York 1956.
- (5) B. Markus: Über den Begriff der Gewebeäquivalenz; Strahlentherapie 101 (1956) 111.
- (6) S. Matschke, J. Richter und K. Winkler: Physikalische und technische Grundlagen der Bestrahlungsplanung; Edition Leipzig 1968.
- (7) Jürgen Rassow, Horst-Dieter Strüter: Beitrag zur Filmdosimetrie energiereicher Strahlen; Archiv für klinische und experimentelle Radiologie 141/3 1971.
- (8) Dieter Fehrentz, Franjo Zunter: Zur Filmdosimetrie in der Strahlentherapie; Archiv für klinische und experimentelle Radiologie 135/3 1968.
- (9) Jürgen Rassow: Grundlagen und Planung der Elektronentiefentherapie mittels Pendelbestrahlung; Essen November 1970.

- (10) R. Glocker: Zeitschrift für Physik 160 (1960) 568.
- (11) A. Zuppiger und G. Paretti: Symposium on High Energy
Electrons; Springer Berlin-Heidelberg-New York 1965.
- (12) Handbuch der Medizinischen Radiologie Band XVI/1
Springer Berlin-Heidelberg-New York 1970.
- (13) E. H. Graul: Dermopan Fibel; Siemens-Reiniger-Werke AG.
Erlangen.
- (14) R. G. Jaeger: Dosimetrie und Strahlenschutz; Georg Thieme
Verlag, Stuttgart (1959).
- (15) F. Wachsmann und A. Dimotsis: Kurven und Tabellen für
die Strahlentherapie; S. Hirzel Verlag Stuttgart
(1957).
- (16) Physical Aspects of Irradiation; National Bureau of Stan-
dards; Handbook 85; Issued March 31, 1964.
- (17) J. Rohen: Anatomie des Auges; VEB Georg Thieme Leipzig
1958.
- (18) Karl Velhagen: Der Augenarzt Bd. I; VEB Georg Thieme
Leipzig 1969.

Herrn Prof. Dr. Dr. H. Pauly möchte ich an dieser Stelle für die Überlassung des Themas und die großzügige materielle Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit recht herzlich danken.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. Th. Schmidt, unter dessen Führung und Anleitung diese Arbeit entstanden ist. Herr Dr. Schmidt hat durch seine sachverständigen Anregungen und durch seinen stets hilfsbereiten Rat wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen.

Weiterhin danke ich Frl. Hermann für die unermüdliche Schreibarbeit und Frl. Torge für das Anfertigen der Bilder.

Lebenslauf

Am 3. 3. 1947 wurde ich, Günter Kurt Schlechtweg, als Sohn des Industriemeisters Kurt Schlechtweg und seiner Ehefrau Therese, geb. Wieser, in Landau a.d. Isar geboren. Von 1953 bis 1958 besuchte ich die Volksschule in Landau. Danach trat ich in das naturwissenschaftliche Gymnasium in Dingolfing ein, wo ich nach 9 Jahren im Juli 1967 die Reifeprüfung ablegte. Im Wintersemester 1967/68 immatrikulierte ich mich an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg für das Studium der Medizin, das ich im Frühjahr 1973 mit dem medizinischen Staatsexamen beendete.

Offsetdruck-Fotodruck

J. Hogl, 8520 Erlangen, Hauptstr. 109 (Nähe Martin-Luther-Platz) Tel. 22990